

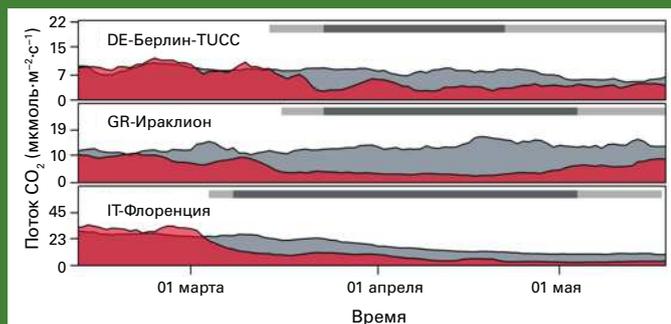


БЮЛЛЕТЕНЬ ВМО ПО ПАРНИКОВЫМ ГАЗАМ

Содержание парниковых газов в атмосфере по данным глобальных наблюдений в 2019 году

№ 16 | 23 ноября 2020 года

Можно ли увидеть влияние связанных с COVID-19 изоляционных мер на уровень CO₂ в атмосфере?



Среднесуточный объем выбросов CO₂ с 5 февраля по 6 мая 2020 года (красная зона) и среднее значение за тот же период времени в предыдущие годы (серая зона) для трех европейских городов. Темно-серые горизонтальные полосы охватывают периоды официальной изоляции, в то время как светло-серые полосы указывают на периоды частичной изоляции или общих ограничений (например, закрытие школ, сокращение личных контактов, ограничения мобильности). Источник: [6]

Человечество переживает фундаментальный кризис в областях здравоохранения и экономики, связанный с COVID-19. Изоляционные меры, широко введенные ранее в 2020 году и вновь введенные во многих местах, оказали воздействие на антропогенные выбросы множества составляющих и привели к изменению химического состава атмосферы. Эти изменения особенно заметны в городских районах и проявляются в традиционных загрязнителях, а также в парниковых газах. Однако сокращение антропогенных выбросов за счет изоляционных мер не окажет заметного влияния на среднемировое значение атмосферного CO₂ в 2020 году, поскольку это сокращение будет меньше естественной межгодовой изменчивости или в лучшем случае сопоставимо с ней.

Глобальная концентрация CO₂ в атмосфере представляет собой бюджет между потоками CO₂ в атмосферу и из нее. CO₂ — это газ, который хорошо перемешивается при турбулентном перемешивании и атмосферном переносе; он накапливается в атмосфере в течение длительного времени, и любая ненулевая эмиссия приводит к увеличению концентрации в атмосфере. Антропогенные выбросы CO₂ увеличивались во всем мире с доиндустриальных времен (до 1750 г.) и за последнее десятилетие увеличивались примерно на 1 % в год [1]. Это привело к ежегодному увеличению мольной доли⁽¹⁾ CO₂ в атмосфере от 2 до 3 млн⁻¹⁽²⁾ за последние десять лет. Это увеличение было документально подтверждено глобальной сетью наземных станций Глобальной службы атмосферы (ГСА), которые могут обнаруживать глобальные изменения содержания CO₂ в атмосфере в течение года с точностью до 0,1 млн⁻¹. Межгодовая изменчивость темпов роста, составляющая около 1 млн⁻¹, почти полностью объясняется изменчивостью поглощения CO₂ экосистемами и океанами (которые вместе взятые ежегодно поглощают примерно половину антропогенных выбросов CO₂ [2]). CO₂ из

ископаемого топлива можно отличить от CO₂ из биогенных источников с помощью изотопного анализа, как это было описано в предыдущем Бюллетене по парниковым газам.

По оценкам Глобального углеродного проекта (ГУП) [3], в течение наиболее интенсивного периода принудительной изоляции в начале 2020 года суточные глобальные выбросы CO₂ могли сократиться на величину до 17 % по сравнению со средним уровнем суточных выбросов CO₂ в 2019 году. Поскольку продолжительность и тяжесть изоляционных мер остаются неясными, очень трудно предсказать общее ежегодное сокращение выбросов CO₂ в 2020 году. Тем не менее, по предварительным оценкам, по сравнению с уровнем 2019 года прогнозируется снижение в пределах от 4,2 до 7,5 %. В глобальном масштабе сокращение выбросов в таком объеме не приведет к снижению уровня CO₂ в атмосфере; он просто будет расти немного медленнее, в результате чего ожидаемая годовая концентрация CO₂ в атмосфере будет на 0,08—0,23 млн⁻¹ ниже, чем ожидаемая концентрация CO₂, если бы пандемия не случилась. Это вполне укладывается в естественную межгодовую изменчивость в 1 млн⁻¹ и означает, что в краткосрочной перспективе воздействие изоляционных мер в связи с COVID-19 нельзя отличить от естественной межгодовой изменчивости. Аналогичный вывод был сделан проектом Carbon Brief [4] и Интегрированной системой наблюдений за углеродом (ИККОС) [5].

Определение изменений сигнала от ископаемого топлива, учитывая высокую естественную изменчивость CO₂ в атмосфере, требует длительных временных рядов для получения надежных статистических данных, а также сложного моделирования данных. Для этого можно использовать несколько подходов. Один из таких подходов — Интегрированная глобальная информационная система ВМО по парниковым газам (ИГИСПГ) — предусматривает использование атмосферных наблюдений и моделирования. Другой подход, принятый ИКОС [6], включает измерения выбросов CO₂ непосредственно в городах. Недавнее исследование, проведенное ИКОС, выявило сокращение выбросов CO₂ до 75 % в городских центрах Базеля, Берлина, Ираклиона, Лондона, Пезаро, Флоренции и Хельсинки при помощи методов, которые непосредственно измеряют вертикальные обменные потоки в пределах нескольких километров от точки измерения (см. рисунок).

Только тогда, когда чистые выбросы CO₂ в атмосферу от ископаемого топлива приблизятся к нулю, чистое поглощение экосистемами и океанами начнет снижать уровни CO₂ в атмосфере. Даже тогда большая часть CO₂, уже добавленного в атмосферу, останется там на несколько веков, продолжая нагревать наш климат. Кроме того, климатическая система Земли имеет отставание в несколько десятилетий из-за буферизации избыточного тепла океанами, поэтому чем быстрее мы сократим свои выбросы, тем меньше вероятность того, что мы превысим пороговое значение потепления, о котором договорились в Парижском соглашении.

Резюме

Последний анализ данных наблюдений, полученных на сети наблюдений *in situ* в рамках Программы Глобальной службы атмосферы (ГСА) ВМО, показывает, что глобально усредненные приземные мольные доли⁽¹⁾ для двуокиси углерода (CO₂), метана (CH₄) и закиси азота (N₂O), достигли в 2019 году новых максимумов, причем для CO₂ он составил 410,5 ± 0,2 млн⁻¹(2), для CH₄ — 1877 ± 2 млрд⁻¹(3), а для N₂O — 332,0 ± 0,1 млрд⁻¹. Эти значения составляют соответственно 148, 260 и 123 % по отношению к уровням доиндустриального периода. Увеличение содержания CO₂ в атмосфере с 2018 по 2019 год было более значительным, чем увеличение, наблюдавшееся с 2017 по 2018 год, и более значительным, чем среднегодовые темпы роста, наблюдавшиеся за последнее десятилетие. Что касается CH₄, его содержание увеличилось с 2018 по 2019 год менее значительно, чем с 2017 по 2018 год, однако это увеличение все же превысило среднегодовые темпы роста за последнее десятилетие. Увеличение содержания N₂O с 2018 по 2019 год было менее значительным, чем в период с 2017 по 2018 год, и практически равно средним темпам роста за последнее десятилетие. Годовой индекс содержания парниковых газов (ГИПГ) Национального управления по исследованию океанов и атмосферы (НУОА) [7], показывает, что в период с 1990 по 2019 год радиационное воздействие долгоживущих парниковых газов (ДПГ) увеличилось на 45 %, при этом на CO₂ приходится около 80 % этого увеличения.

Обзор наблюдений сети ГСА *in situ* за 2019 год

В настоящем шестнадцатом Бюллетене ВМО по парниковым газам сообщается о содержании в атмосфере важнейших ДПГ — двуокиси углерода, метана и закиси азота и о темпах изменения их содержания, а также приводится краткая информация о вкладе в радиационное воздействие на атмосферу других парниковых газов (ПГ). На эти три ДПГ, наряду с ХФУ-12 и ХФУ-11, приходится приблизительно 96 %⁽⁴⁾ [7] радиационного воздействия, обусловленного ДПГ (рисунок 1).

Программа Глобальной службы атмосферы ВМО (<https://community.wmo.int/activity-areas/gaw>) координирует систематические наблюдения и анализ парниковых газов и других малых газовых составляющих. Станции, на которых в последнее десятилетие осуществляется измерение ПГ, показаны на рисунке 2. Данные измерений сообщаются участвующими странами, архивируются и распространяются Мировым центром данных по парниковым газам (МЦДПГ), который находится в Японском метеорологическом агентстве. МЦДПГ играет важную роль в управлении данными в рамках программы ГСА и в этом году отмечает свое 30-летие.

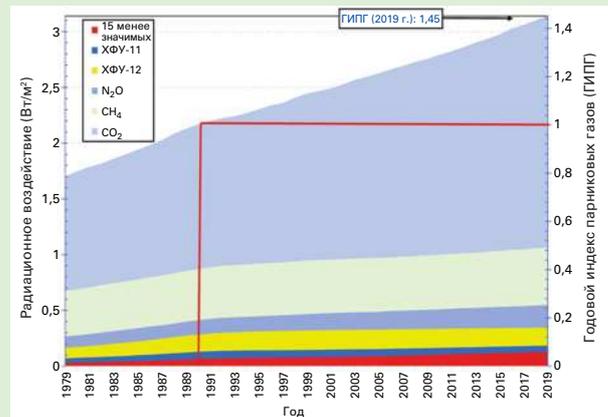
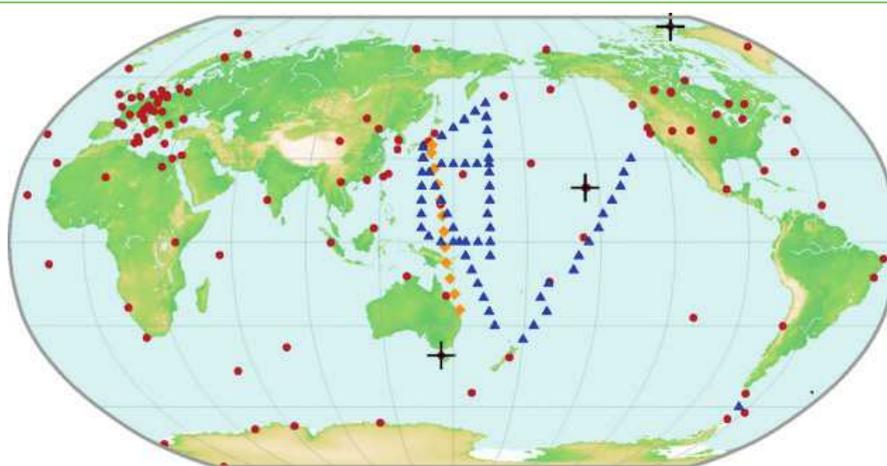


Рисунок 1. Радиационное воздействие ДПГ на атмосферу относительно 1750 г. и обновленный ГИПГ НУОА за 2019 г. [7]

Таблица 1. Глобальное среднегодовое приземное содержание (2019 г.) и тренды важнейших ПГ по данным глобальной сети ГСА ВМО для наблюдений за ПГ *in situ*. Единицы измерения — мольные доли в сухом воздухе, а погрешности определены на уровне доверительного интервала, составляющего 68 % [10]; метод усреднения описан в Отчете ГСА № 184 [9].

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Глобальное содержание в 2019 г.	410,5±0,2 млн ⁻¹	1877±2 млрд ⁻¹	332,0±0,1 млрд ⁻¹
Содержание 2019 г. относительно 1750 г. ^a	148 %	260 %	123 %
Абсолютное увеличение в 2018—2019 гг.	2,6 млн ⁻¹	8 млрд ⁻¹	0,9 млрд ⁻¹
Относительное увеличение в 2018—2019 гг.	0,64 %	0,43 %	0,27 %
Среднее годовое абсолютное увеличение за последние 10 лет	2,37 млн ⁻¹ /год	7,3 млрд ⁻¹ /год	0,96 млрд ⁻¹ /год

^a Исходя из предположения о том, что в доиндустриальный период мольная доля CO₂ составляла 278 млн⁻¹, CH₄ — 722 млрд⁻¹, а N₂O — 270 млрд⁻¹. Число станций, данные которых использовались для анализа, составляет 133 для CO₂, 134 для CH₄ и 100 для N₂O.



• Наземные измерения ♦ Самолетные измерения ▲ Судовые измерения + Станции сравнения данных по ПГ

Рисунок 2. Глобальная сеть ГСА для мониторинга двуокиси углерода в последнее десятилетие. Сеть для мониторинга метана аналогична.

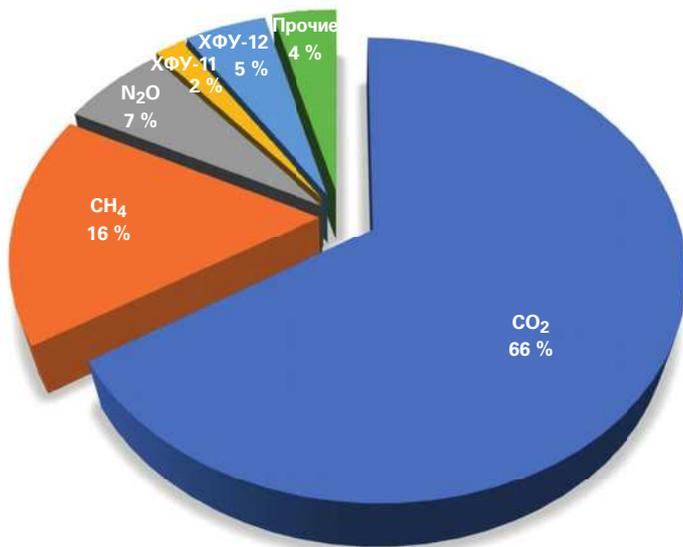


Рисунок 3. Вклад наиболее важных долгоживущих парниковых газов в увеличение глобального радиационного воздействия с доиндустриальной эпохи до 2019 года [7]

Представленные здесь результаты МЦДПГ ВМО по глобальному среднему значению и темпам роста несколько отличаются от результатов, сообщаемых НУОА за те же годы [8], по причине различий в используемых станциях, различий в процедуре усреднения и небольших различий в периоде времени, для которого эти значения репрезентативны. МЦДПГ ВМО следует процедуре, описанной в Отчете ГСА № 184 [9].

В таблице 1 приведены глобально усредненные значения содержания в атмосфере трех основных ДПГ в 2019 году и изменение их содержания с 2018 и 1750 годов. Данные с подвижных станций (синие треугольники и оранжевые ромбы на рисунке 2), за исключением станций НУОА, с которых производится отбор проб в восточной части Тихоокеанского региона, в этом глобальном анализе не используются.

Три ПГ, приведенные в таблице 1, тесно связаны с антропогенной деятельностью и активно взаимодействуют с биосферой и океанами. Прогнозирование эволюции содержания ПГ в атмосфере требует количественной оценки их многочисленных источников, поглотителей и химических преобразований в атмосфере. Наблюдения ГСА предоставляют неоценимую информацию об ограничениях при расчете бюджетов этих или иных ДПГ и используются для улучшения оценок выбросов и оценки среднего содержания ДПГ в столбе атмосферы, определенного со спутника. ИГИСПГ предоставляет дополнительную информацию об источниках и поглотителях ПГ на национальном и субнациональном уровнях (<https://ig3is.wmo.int>).

ГИПГ НУОА измеряет увеличение общего радиационного воздействия всех ДПГ с 1990 года [7]. В 2019 году ГИПГ НУОА достиг 1,45, что указывает на увеличение общего радиационного воздействия⁽⁴⁾ на 45 % с 1990 до 2019 года и на 1,8 % — с 2018 по 2019 год (рисунок 1). Общее радиационное воздействие всех ДПГ в 2019 году (3,14 Вт·м⁻²) соответствует мольной доле эквивалента CO₂, составляющей 500 млн⁻¹ [7]. Относительный вклад наиболее важных долгоживущих парниковых газов в увеличение глобального радиационного воздействия с доиндустриальной эпохи до 2019 года представлен на рисунке 3.

Двуокись углерода (CO₂)

Двуокись углерода является единственным наиболее важным антропогенным парниковым газом в атмосфере, доля которого в радиационном воздействии ДПГ составляет

приблизительно 66 %⁽⁴⁾. Его вклад в увеличение радиационного воздействия за последнее десятилетие составляет ~82 %⁽⁴⁾ и также ~82 % за последние пять лет. Доиндустриальный уровень, составлявший ~278 млн⁻¹, отражал баланс потоков между атмосферой, океанами и биосферой суши. Глобально усредненная мольная доля CO₂ в 2019 году составила 410,5 ± 0,2 млн⁻¹ (рисунок 4). Прирост среднегодового значения с 2018 по 2019 год, составивший 2,6 млн⁻¹, превышает прирост с 2017 по 2018 год и средние темпы роста за последнее десятилетие (2,37 млн⁻¹/год).

В 2019 году содержание CO₂ в атмосфере достигло 148 % по отношению к доиндустриальному уровню главным образом за счет выбросов от сжигания ископаемых видов топлива и производства цемента (по прогнозам, в 2019 году выбросы CO₂ от сжигания ископаемых видов топлива должны были достигнуть 36,7 ± 2 ГтCO₂⁽⁵⁾ [1]), обезлесения и других изменений в землепользовании (5,5 ГтCO₂/год в среднем за 2009—2018 годы). Из всего объема выбросов в результате человеческой деятельности в период с 2009 по 2018 год около 44 % аккумулировалось в атмосфере, 23 % — в океане и 29 % — на суше; не соотношенный ни с чем дисбаланс бюджета составляет 4 % [2]. Доля выбросов CO₂ из-за

сжигания ископаемого топлива, которая остается в атмосфере (атмосферная фракция), изменяется каждый год вследствие значительной естественной изменчивости поглотителей CO₂ без подтвержденной при этом глобальной тенденции.

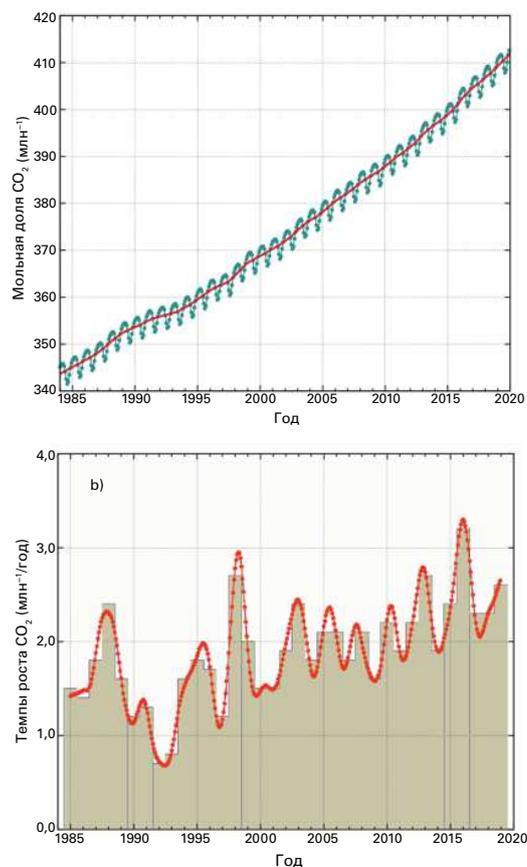


Рисунок 4. Глобально усредненная мольная доля CO₂ (график «а») и темпы ее роста (график «б») с 1984 по 2019 г. Прирост последовательных среднегодовых значений показан в виде затененных столбцов на графике «б». Красной линией на графике «а» показано среднемесячное значение без учета сезонных колебаний; голубыми точками и линией обозначены осредненные за месяц значения. Для анализа использовались данные 133 станций.

Мониторинг местных выбросов метана в поддержку климатических целей Парижского соглашения

Сандер Хоувелин

Глобальный рост содержания метана (CH_4) на 8 млрд^{-1} в год в 2019 году, о котором сообщается в этом бюллетене, продолжает тенденцию роста содержания метана на $5\text{—}10 \text{ млрд}^{-1}$ в год в последнем десятилетии. В своем последнем анализе Глобальный углеродный проект (ГУП) [11] оценил глобальные выбросы метана в период 2008—2017 гг. в $576 \text{ Тг CH}_4/\text{год}$. Это соответствует среднегодовому общему объему выбросов, который на 29 Тг/год больше, чем оценка за предыдущее десятилетие. Эти цифры были получены в результате взаимного сопоставления обратного моделирования с использованием приземных измерений, полученных от ГСА, и спутниковых измерений, полученных с помощью японского спутника наблюдения за парниковыми газами (GOSAT). Все результаты обратного моделирования, основанные на этих данных, свидетельствуют о том, что тропики и Юго-Восточная Азия вносят наибольший вклад в это увеличение. Тем не менее, трудно предоставить дополнительные детали, которые были бы устойчивы по всему инверсионному ансамблю и с точки зрения относительной значимости изменений в антропогенных и природных источниках. Действительно, оценка ГУП не ограничивает далее широкий спектр сценариев и возможных объяснений, которые были предложены в более ранних исследованиях в связи с возобновившимся с 2007 года увеличением CH_4 (см., например, [15]—[18]).

Наблюдаемый тренд в отношении $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$, который не был использован в оценке ГУП, объясняется комбинированным увеличением микробных и ископаемых выбросов [18]. Этот тренд указывает на вероятный сценарий, согласно которому рост содержания метана в значительной степени обусловлен растущим спросом на энергию и продовольствие. Это в целом согласуется с кадастром выбросов EDGARv5 [19], в котором на антропогенные источники приходится увеличение на $30 \text{ Тг CH}_4/\text{год}$ в период с 2008 по 2015 год, что более чем достаточно для объяснения наблюдаемого увеличения.

На рисунке 5 показано увеличение содержания метана и ускорение этого увеличения с 2014 года по сравнению с репрезентативными траекториями концентраций (РТК), также известными как климатические сценарии, в Пятом оценочном докладе (ОД5) Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК). Метан следует по траектории, которая находится между

RCP 6 и RCP 8.5, сценарий сильнейшего потепления. В ряде исследований указывалось на краткосрочные климатические выгоды и экономическую рентабельность предотвращения выбросов метана [20], [21]. Однако на рисунке 5 показано, что международные усилия по достижению целей Парижского соглашения до сих пор не были сосредоточены на смягчении последствий выбросов метана.

На рисунке 6 показана утечка природного газа в западной части Туркменистана, которая была впервые обнаружена спутником GHGSat в 2019 году и позже подтверждена данными наблюдений с прибора Sentinel 5p TROPOMI [22]. Был виден шлейф всего столба метана, который менял направление между последующими проходами спутника в соответствии с локальным направлением ветра. Несмотря на сложность измерения метана из космоса с достаточной точностью, было мало сомнений в том, что эти сигналы реальны. Выброс оценивался в $142 \pm 34 \text{ КтCH}_4/\text{год}$, что является большой утечкой (около 6 м^3 метана в секунду), но которая, тем не менее, оставалась незамеченной в течение нескольких лет. Собранные до сих пор данные TROPOMI показывают несколько таких утечек природного газа по всему миру (см., например, [23], [24]). В ближайшие годы планируется запуск спутников с более чувствительными датчиками (например, спутника MethaneSat), а спутник GHGSat Iris уже был запущен в сентябре этого года. Датчики на этих спутниках потенциально позволят обнаруживать больше утечек с более высокой степенью точности.

Для совершенствования спутниковых оценок выбросов по-прежнему необходимо существенное улучшение методологии, для чего необходимы точные наземные измерения. Однако при нынешних возможностях уже можно внести важный новый вклад в региональный мониторинг выбросов. Это замечательный пример новой разработки, которая непосредственно отвечает цели ИГИСПГ по сокращению выбросов метана в нефтегазовом секторе. ИГИСПГ располагает идеальными возможностями для объединения усилий международных ученых и конечных пользователей в целях обеспечения того, чтобы новые региональные возможности мониторинга выбросов использовались для деятельности в области климата, которая настоятельно необходима для успешного осуществления Парижского соглашения.

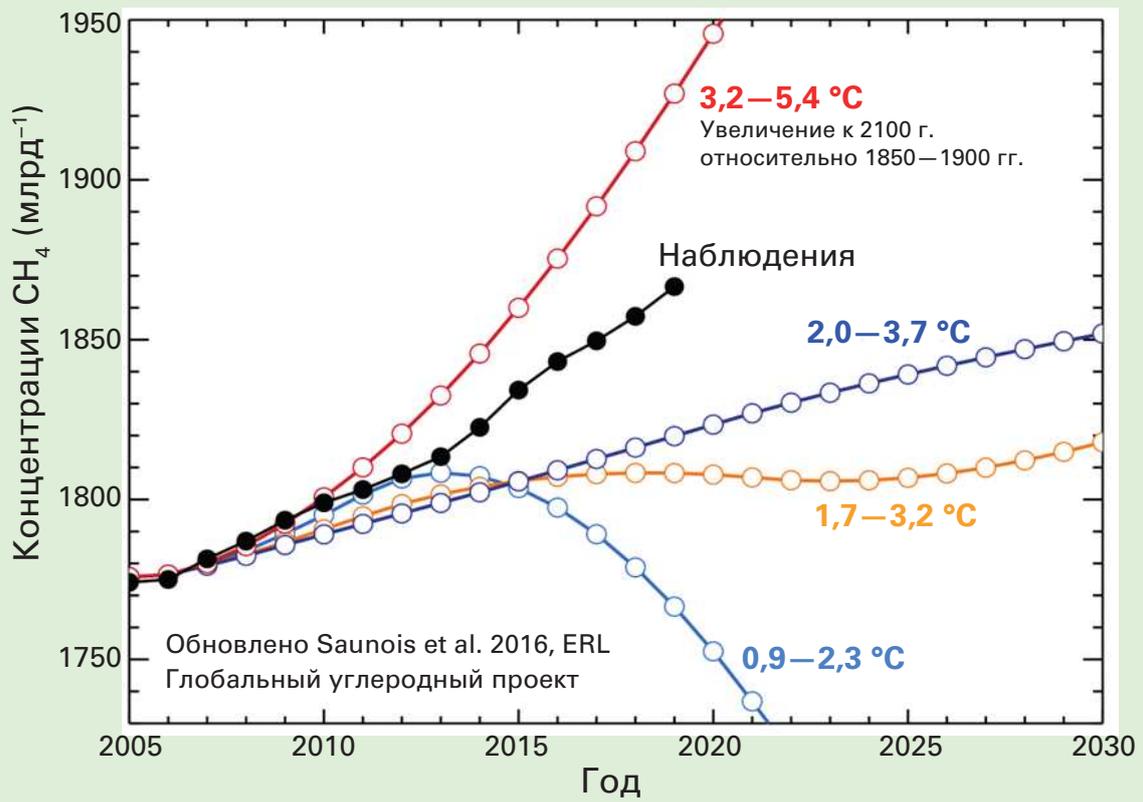


Рисунок 5. Наблюдаемое глобальное увеличение CH_4 по сравнению со сценариями РТК ОД5 МГЭИК [11]

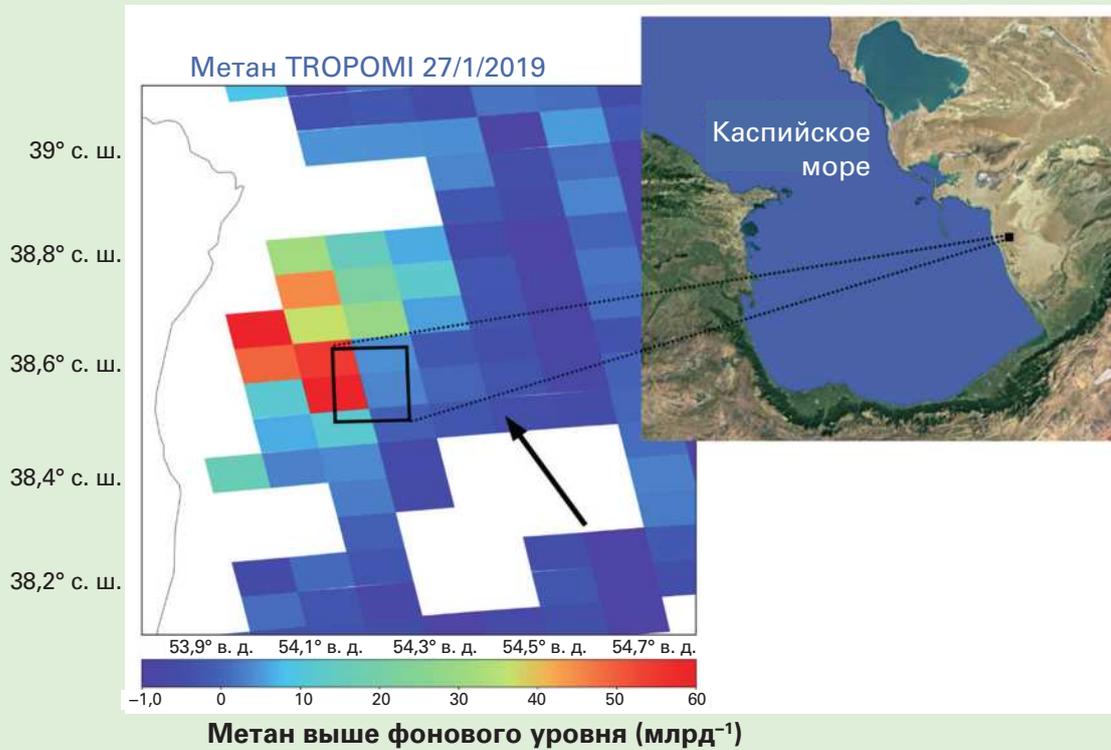
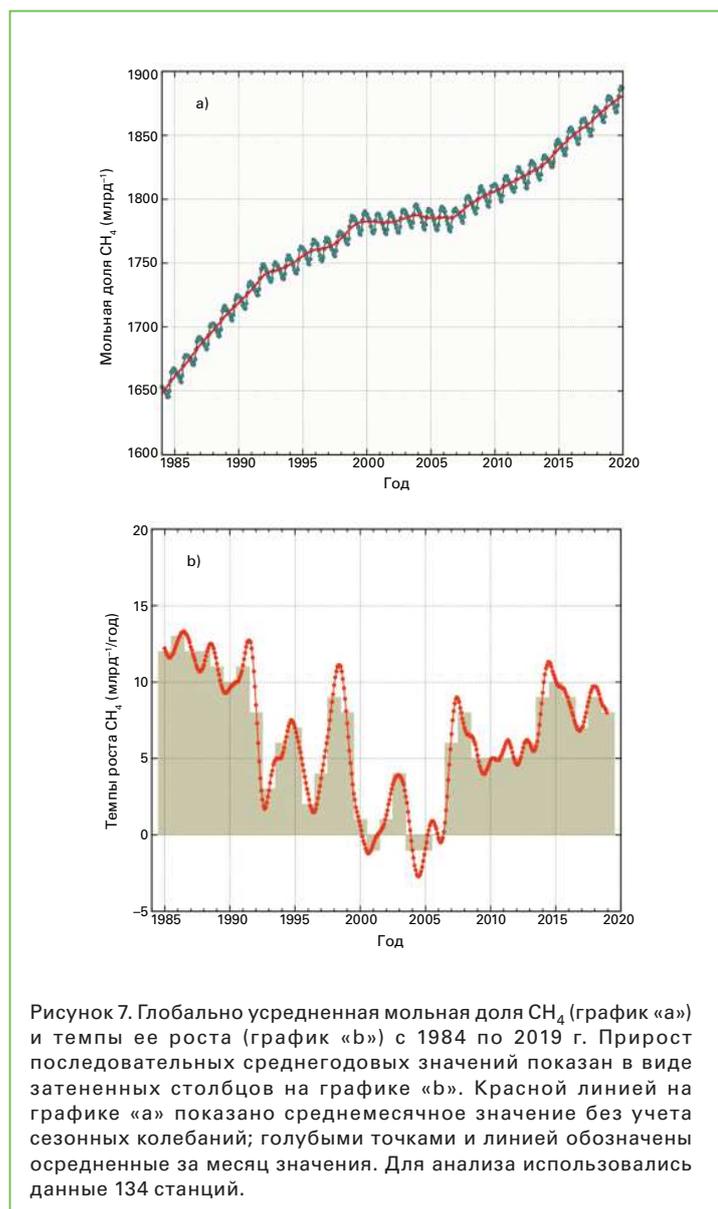


Рисунок 6. Наблюдаемые TROPOMI выбросы метана при добыче нефти и газа в западном Туркменистане [22]

Метан (CH₄)

Доля метана в радиационном воздействии ДПГ составляет около 16 %⁽⁴⁾. Приблизительно 40 % метана поступает в атмосферу из естественных источников (например, водно-болотные угодья и термитники) и около 60 % — из антропогенных (например, жизнедеятельность жвачных животных, выращивание риса, использование ископаемого топлива, захоронение отходов и сжигание биомассы) [11]. Глобально усредненная доля CH₄, рассчитанная на основании наблюдений *in situ*, достигла в 2019 году нового максимума, составившего 1877 ± 2 млрд⁻¹, что является увеличением на 8 млрд⁻¹ по отношению к предыдущему году (рисунок 7). Эта величина ниже величины 9 млрд⁻¹, зафиксированной с 2017 по 2018 год, однако она слегка выше среднегодового увеличения за последнее десятилетие. Среднегодовой прирост CH₄ снизился с приблизительно 12 млрд⁻¹/год в конце 1980-х годов до почти нулевого значения в период с 1999 по 2006 год. С 2007 года содержание CH₄ в атмосфере увеличивается и достигло 260 % по отношению к доиндустриальному уровню (примерно 722 млрд⁻¹) в связи с увеличением выбросов из антропогенных источников. Исследования, основанные на данных измерений CH₄ ГСА, указывают на то, что вероятной причиной этого недавнего роста является увеличение эмиссии CH₄ из болот в тропиках и выбросов из антропогенных источников в средних широтах северного полушария.

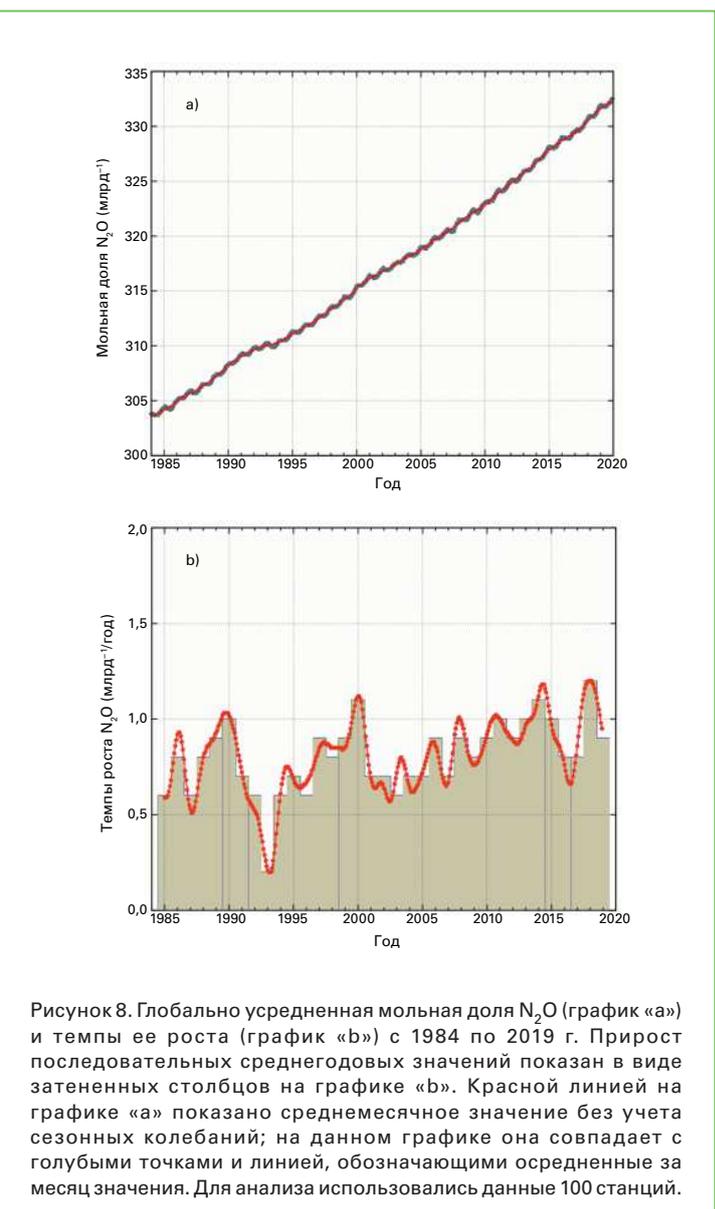


Закись азота (N₂O)

Доля закиси азота в радиационном воздействии ДПГ составляет примерно 7 %⁽⁴⁾. Это третий наиболее важный ДПГ по своему вкладу в общее радиационное воздействие. N₂O поступает в атмосферу как из естественных (около 60 %), так и из антропогенных источников (приблизительно 40 %), включая океаны, почву, сжигание биомассы, использование удобрений и различные промышленные процессы. Глобально усредненная мольная доля N₂O в 2019 году достигла 332,0 ± 0,1 млрд⁻¹, что на 0,9 млрд⁻¹ выше показателя предыдущего года (рисунок 8) и на 123 % больше доиндустриального уровня (270 млрд⁻¹). Годовое увеличение с 2018 по 2019 меньше, чем увеличение с 2017 по 2018 год, и почти равно средним темпам роста за последние 10 лет (0,96 млрд⁻¹/год). Глобальные антропогенные выбросы N₂O, в которых преобладают выбросы от азотных удобрений для пахотных земель, увеличились на 30 % за последние четыре десятилетия до 7,3 (диапазон: 4,2–11,4) тераграмм азота в год. Этим увеличением в основном объясняется рост атмосферной нагрузки N₂O [12].

Прочие парниковые газы

Вклад хлорфторуглеродов (ХФУ), разрушающих стратосферный озоновый слой, вместе с менее значимыми галоидированными



газами в радиационное воздействие ДПГ составляет ~11 %⁽⁴⁾. Хотя содержание ХФУ и большинства галонов сокращается, доля некоторых гидрохлорфторуглеродов (ГХФУ) и гидрофторуглеродов (ГФУ), которые также являются мощными парниковыми газами, увеличивается относительно быстрыми темпами, однако их содержание в атмосфере по-прежнему остается низким (на уровне трлн⁻¹⁽⁶⁾). Несмотря на такое же низкое содержание, гексафторид серы (SF₆) является чрезвычайно мощным ДПГ. Он производится химической промышленностью, главным образом в качестве электроизоляционного материала в оборудовании для распределения электроэнергии. В настоящее время его молярная доля более чем в два раза выше уровня, наблюдавшегося в середине 1990-х годов (рисунок 9, график «а»).

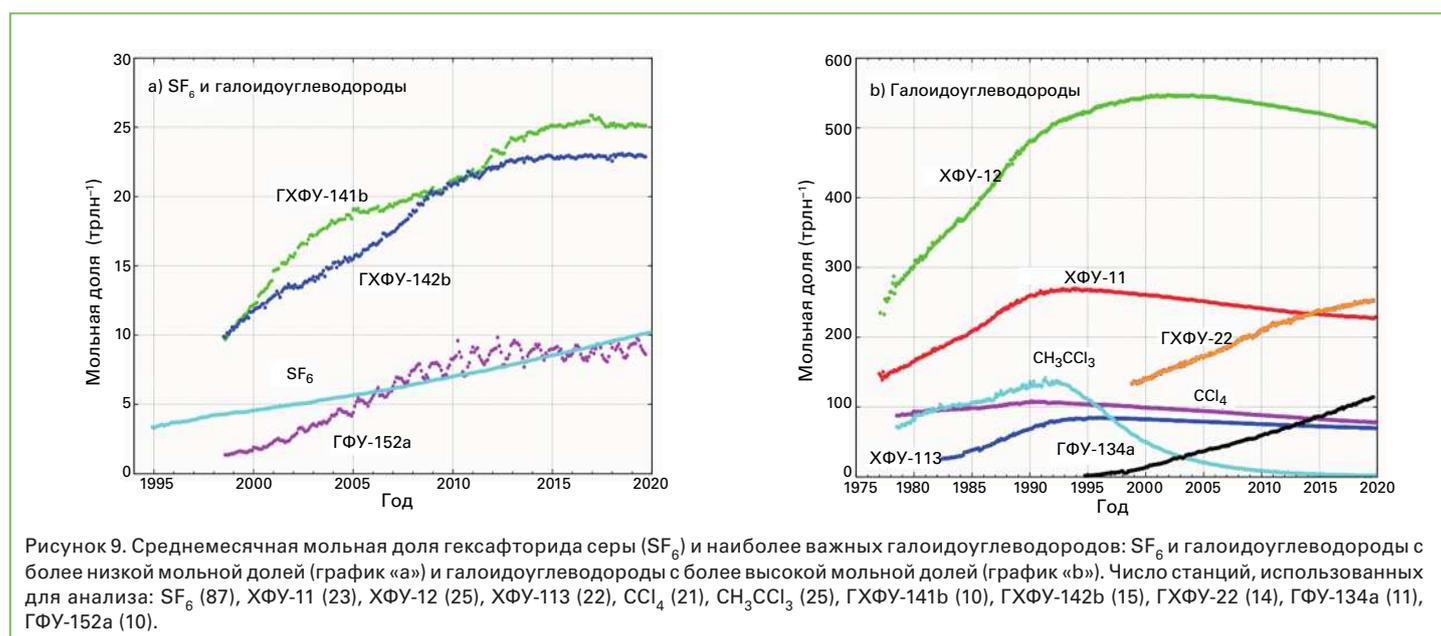
В настоящем бюллетене в первую очередь рассматриваются долгоживущие парниковые газы. Радиационное воздействие относительно короткоживущего тропосферного озона сопоставимо с радиационным воздействием галогенуглеродов [13]. Многие другие загрязнители, такие как окись углерода, окислы азота и летучие органические соединения, хотя и не называются парниковыми газами, оказывают небольшое прямое или косвенное влияние на радиационное воздействие. Аэрозоли (взвешенные частицы) являются короткоживущими веществами, которые изменяют радиационный баланс. Все упомянутые здесь газы, а также аэрозоли включены в программу наблюдений ГСА при поддержке Членов ВМО и сетей, предоставляющих данные.

Выражение признательности и ссылки

Пятьдесят пять Членов ВМО внесли свой вклад в форме предоставления данных о CO₂ и других парниковых газах в МЦДПГ ГСА. Приблизительно 40 % данных измерений, переданных в МЦДПГ, было собрано на станциях совместной сети отбора проб воздуха Научной лаборатории НУОА по изучению системы Земля. Данные по другим сетям и станциям см. в Отчете ГСА № 255 [14]. В подготовку настоящего бюллетеня также был внесен вклад по линии Расширенного эксперимента по глобальным атмосферным газам. Станции наблюдений ГСА, предоставившие данные для использования в настоящем бюллетене, отмечены на рисунке 2 и перечислены в списке станций, внесших вклад в подготовку бюллетеня, на веб-странице МЦДПГ (<https://gaw.kishou.go.jp/>). Они также описаны в Системе информации о станциях ГСА (СИГСА) (<http://gawsis.meteoswiss.ch>), которая получает поддержку со стороны Метеорологической службы Швейцарии.

Ссылки

- [1] World Meteorological Organization/United Nations Environment Programme//Intergovernmental Panel on Climate Change/United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization/Intergovernmental Oceanographic Commission/Global Carbon Project, 2020: *United in Science 2020: A multi-organization high-level compilation of the latest climate science information*, https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=21761#.X3w_uEBuJjs.
- [2] Friedlingstein, P. et al., 2019: Global Carbon Budget 2019. *Earth System Science Data*, 11, 1783–1838, <https://doi.org/10.5194/essd-11-1783-2019>.
- [3] Le Quéré, C. et al., 2020: Temporary reduction in daily global CO₂ emissions during the COVID-19 forced confinement. *Nature Climate Change*, <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0797-x>.
- [4] Evans, S., 2020: Daily global CO₂ emissions 'cut to 2006 levels' during height of coronavirus crisis. Carbon Brief, <https://www.carbonbrief.org/daily-global-co2-emissions-cut-to-2006-levels-during-height-of-coronavirus-crisis>.
- [5] Kutsch W. et al., 2020: Finding a hair in the swimming pool: The signal of changed fossil emissions in the atmosphere. Integrated Carbon Observation System, <https://www.icos-cp.eu/event/917>.
- [6] Integrated Carbon Observation System, 2020: ICOS study shows clear reduction in urban CO₂ emissions as a result of Covid-19 lockdown, <https://www.icos-cp.eu/event/933>.
- [7] Butler, J.H., and S.A. Montzka, 2020: The NOAA Annual Greenhouse Gas Index (AGGI). National Oceanic and Atmospheric Administration Earth System Research Laboratories Global Monitoring Laboratory, <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html>.
- [8] National Oceanic and Atmospheric Administration, Earth System Research Laboratories, Global Monitoring Laboratory, 2020: Trends in atmospheric carbon dioxide, <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>.
- [9] Tsutsumi, Y., K. Mori, T. Hirahara, M. Ikegami and T.J. Conway, 2009: *Technical Report of Global Analysis Method for Major Greenhouse Gases by the World Data Center for Greenhouse Gases (WMO/TD-No. 1473)*. GAW Report No. 184. World Meteorological Organization, Geneva, https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=12631.
- [10] Conway, T.J. et al., 1994: Evidence for interannual variability of the carbon cycle from the National Oceanic and Atmospheric Administration/Climate Monitoring and Diagnostics Laboratory Global Air Sampling Network. *Journal of Geophysical Research*, 99:22831–22855, <https://doi.org/10.1029/94JD01951>.



- [11] Saunio, M., A. Stavert, B. Poulter et al., 2020: The Global Methane Budget 2000–2017. *Earth System Science Data*, 12, 1561–1623, <https://doi.org/10.5194/essd-12-1561-2020>.
- [12] Tian, H., R. Xu, J.G. Canadell et al., 2020: A comprehensive quantification of global nitrous oxide sources and sinks. *Nature*, 586, 248–256, <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2780-0>.
- [13] World Meteorological Organization, 2018: *WMO Reactive Gases Bulletin: Highlights from the Global Atmosphere Watch Programme*, No. 2, https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=5244.
- [14] World Meteorological Organization, 2020: *20th WMO/IAEA Meeting on Carbon Dioxide, Other Greenhouse Gases and Related Measurement Techniques (GGMT-2019)*. GAW Report- No. 255. Geneva, https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10353.
- [15] Rigby, M., S.A. Montzka, R.G. Prinn et al., 2017: Role of atmospheric oxidation in recent methane growth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(21), 5373–5377, <https://doi.org/10.1073/pnas.1616426114>.
- [16] Hausmann, P., R. Sussmann, and D. Smale, 2016: Contribution of oil and natural gas production to renewed increase in atmospheric methane (2007–2014): top–down estimate from ethane and methane column observations, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16, 3227–3244, <https://doi.org/10.5194/acp-16-3227-2016>.
- [17] Schaefer, H., S.E.M. Fletcher, C. Veidt et al., 2016: A 21st century shift from fossil-fuel to biogenic methane emissions indicated by 13CH₄, *Science*, 352, 80–84, <https://doi.org/10.1126/science.aad2705>.
- [18] Worden, J. R., A.A. Bloom, S. Pandey et al., 2017: Reduced biomass burning emissions reconcile conflicting estimates of the post-2006 atmospheric methane budget. *Nature Communications*, 8(1), 2227. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02246-0>.
- [19] Crippa, M., G. Oreggioni, D. Guizzardi et al., 2019: *Fossil CO₂ and GHG emissions of all world countries: 2019 Report*, Luxembourg, Publications Office of the European Union, <https://doi.org/10.2760/687800>.
- [20] Höglund-Isaksson, L., 2012: Global anthropogenic methane emissions 2005–2030: technical mitigation potentials and costs. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12(19), 9079–9096, <https://doi.org/10.5194/acp-12-9079-2012>.
- [21] Shindell, D.T., J.S. Fuglestedt, and W.J. Collins, 2017: The social cost of methane: theory and applications. *Faraday Discussions*, 200, 429–451, <https://doi.org/10.1039/c7fd00009j>.
- [22] Varon, D.J., J. McKeever, D. Jervis et al., 2019: Satellite Discovery of Anomalously Large Methane Point Sources From Oil/Gas Production. *Geophysical Research Letters*, 2019GL083798, <https://doi.org/10.1029/2019GL083798>.
- [23] Pandey, S., R. Gautam, S. Houweling et al., 2019: Satellite observations reveal extreme methane leakage from a natural gas well blowout. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1–6, <https://doi.org/10.1073/pnas.1908712116>.
- [24] Schneising, O., M. Buchwitz, M. Reuter et al., 2020: Remote sensing of methane leakage from natural gas and petroleum systems revisited. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 1–23, <https://doi.org/10.5194/acp-2020-274>.

Контактная информация

Всемирная метеорологическая организация
Отдел исследований атмосферной среды
Департамент науки и инноваций, Женева
Эл. почта: gaw@wmo.int

Мировой центр данных по парниковым газам
Японское метеорологическое агентство, Токио
Эл. почта: wdcgg@met.kishou.go.jp
Веб-сайт: <https://gaw.kishou.go.jp/>

Примечания:

- (1) Мольная доля = предпочтительное выражение для содержания (концентрации) смеси газов или жидкостей. В атмосферной химии используется для выражения концентрации как числа молей соединения на моль сухого воздуха
- (2) млн⁻¹ = число молекул газа на миллион (10⁶) молекул сухого воздуха
- (3) млрд⁻¹ = число молекул газа на миллиард (10⁹) молекул сухого воздуха
- (4) Эта процентная доля рассчитывается как относительный вклад вышеупомянутого(ых) газа(ов) в повышение глобального радиационного воздействия, вызванного всеми ДПГ с 1750 года
- (5) 1 ГтCO₂ = 1 миллиард (10⁹) метрических тонн двуокиси углерода
- (6) трлн⁻¹ = число молекул газа на триллион (10¹²) молекул сухого воздуха

Отдельные обсерватории для мониторинга парниковых газов

Многие станции ГСА были созданы в очень отдаленных местах по всему миру. Связанные с COVID-19 изоляционные меры создали логистические проблемы в связи с такой удаленностью и соответствующими ограничениями на передвижение и транспортировку. Ниже описываются проблемы, с которыми сталкиваются две станции, расположенные на отдаленных островах в Южном и Тихом океанах.

Американское Самоа (SMO)



Фото: ЕСРГ НУОА

Базовая обсерватория Американского Самоа (SMO) НУОА расположена в середине южной части Тихого океана, примерно на полпути между Гавайскими островами и Новой Зеландией. Для этого региона характерны круглогодично теплая и влажная погода, покрытые буйной зеленью горы и богатая самоанская культура. Обсерватория расположена на северо-восточной оконечности острова Тутуила, Американское Самоа, на мысе Мататула.

Весной 2020 года, когда разразилась пандемия COVID-19, Американское Самоа ввело строгие ограничения на поездки, в том числе на некоторое время полностью приостановило грузовые авиарейсы, с тем чтобы попытаться не допустить перегрузки медицинских учреждений острова из-за вспышки эпидемии. Ограничения на передвижение грузов и персонала не позволили пополнить запасы SMO важнейшими калибровочными газами, флягами и другими необходимыми материалами, а также отложили запланированное обновление системы анализа CO_2 *in situ*. Были составлены планы на случай непредвиденных обстоятельств для закрытия станции и эвакуации персонала в случае, если пандемия станет наихудшим сценарием развития событий на острове. Кроме того, ограничения на поездки грозили задержкой запланированной ежегодной ротации начальника станции, которая, как правило, включает в себя 2–3-недельные дублирования в работе для проведения обширной очной подготовки. В конце концов новый начальник станции смог добраться до острова рейсом Министерства обороны (МО) с гуманитарной помощью, а персонал смог полностью передать дела до того, как уходящий начальник станции покинул остров другим рейсом МО. Ограничения на поездки остаются в силе, однако, к счастью, ситуация в Американском Самоа еще не пошла по наихудшему сценарию, и все важнейшие измерения и отбор проб на SMO продолжались на протяжении всей пандемии.

Местоположение

Страна: Американское Самоа
Широта: 14,2474° ю. ш.
Долгота: 170,5644° з. д.
Высота: 42,00 метра над уровнем моря
Часовой пояс: местное время = BCB – 11 часов

Фото: П. Робертс



Остров Маккуори (MQA)



Фото: Барри Беккер

Остров Маккуори — это субантарктический остров, расположенный в Южном океане, примерно на полпути между Австралией и Антарктидой. «Макка», как его обычно называют, является объектом всемирного наследия и находится в ведении Управлением национальными парками и заповедниками Тасмании. В северной части острова Австралийское антарктическое отделение (AAD) эксплуатирует исследовательскую станцию, которая в течение тридцати лет поддерживает различные научные исследования и долгосрочные программы мониторинга, начиная от сохранения значительных популяций морских птиц и тюленей и заканчивая измерением состава атмосферы для Организации по научным и промышленным исследованиям для стран Содружества (КСИРО). Наряду с AAD, Австралийское бюро метеорологии (АБМ), Австралийская организация по ядерной науке и технологии (АНСТО), Гейдельбергский университет (Германия) и ГНС (Новая Зеландия) являются ключевыми участниками долгосрочной программы КСИРО по мониторингу состава атмосферы.

Для обеспечения защиты зимующего на Макке изолированного персонала от вируса COVID-19 этим (австралийским) летом действуют строгие карантинные протоколы для одной ежегодной смены персонала. Обучение персонала АБМ по отбору проб CO_2 , CH_4 , N_2O , CO , H_2 , $\delta^{13}\text{C}-\text{CO}_2$ и $\Delta^{14}\text{C}-\text{CO}_2$ во фляги, а также по производству измерений *in situ* CO_2 , CH_4 и ^{222}Rn проходило в этом году дистанционно, и в ближайшем будущем на острове не будет сопровождающих ученых для проведения планового технического обслуживания. Тем не менее, благодаря преданности находящегося на зимовке персонала, отбор проб и измерения *in situ* будут продолжаться в течение всего 2021 года на этой важной станции в южном полушарии.

Местоположение

Страна: Австралия
Широта: 54,4985° ю. ш.
Долгота: 158,9385° в. д.
Высота: 16,00 метров над уровнем моря
Часовой пояс: местное время = BCB + 10 часов



Фото: Вики Хайнрик

